



Fully FPGA-Based Permanent Magnet Synchronous Motor Speed Control System Using Two-Degrees-of-Freedom Method Designed by Fictitious Reference Iterative Tuning

著者	Harahap Charles Ronald
その他のタイトル	擬似参照信号反復調整法で設計した2自由度制御手法を用いた全FPGA永久磁石同期電動機速度制御系に関する研究
学位授与番号	17104甲生工第285号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00006204

氏名・(本籍)	Charles Ronald Harahap (インドネシア)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	生工博甲第 285 号
学位授与の日付	平成29年3月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Fully FPGA-Based Permanent Magnet Synchronous Motor Speed Control System Using Two-Degrees-of-Freedom Method Designed by Fictitious Reference Iterative Tuning (擬似参照信号反復調整法で設計した2自由度制御手法を用 いた全FPGA永久磁石同期電動機速度制御系に関する研究)
論文審査委員会	委員長 教 授 内藤 正路 〃 花本 剛士 〃 玉川 雅章 〃 大村 一郎

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

永久磁石同期電動機(Permanent Magnet Synchronous Motor : PMSM)は、産業界から家電製品まで幅広く使用されている。産業界においては、鉄道車両の駆動用電動機、電気自動車やハイブリッド自動車の駆動、産業用ロボットをはじめ各種産業機器、工作機器等が挙げられる。家庭内においてもエアコン、冷蔵庫、洗濯、掃除機などの製品に駆動用途として使用されている。これは PMSM とインバータを組み合わせることで電気エネルギーから機械エネルギーに高効率で変換できること、また同時に高精度な制御を行うことができるためである。このような PMSM の高性能制御には高応答性能と外乱抑制性能が要求される。そこで近年、従来の Si 素子よりスイッチング速度の速い SiC 素子を用いたインバータが実用化されており、素子の特性を生かした駆動システムの構築が必要となっている。

そこで本論文では、書き換え可能な素子である FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いて永久磁石同期電動機の全デジタルハードウェア速度制御系を構築し、擬似参照信号反復調整法(Fictitious Reference Iterative Tuning : FRIT)を使用した新たな制御器ゲイン設計手法を提案している。FRIT は制御対処の数式モデルを必要とせずゲインが探索できる手法であり、ここでは、目標値応答と外乱応答を含んだ1組の入出力データから所望のゲイン設計が行える新たな手法を提案し、その有効性を示している。論文は以下の6章からなっている。

第1章は PMSM が可変速駆動装置として広く使用されている背景と現状について記載するとともに可変速速度制御系を構成するインバータ素子、インバータ回路、制御器

及びインターフェイス回路として使用される FPGA について言及している。さらに速度制御性能を左右する 2 自由度制御器と制御器ゲインの設計手法についての文献調査を行い、本論文で提案する手法の有効性について言及している。

第 2 章では制御対象となる PMSM の構造、数式モデルについて言及し、高応答を実現するための SiC 素子を用いた 3 相電圧形インバータの基本構成と可変速駆動を実現するパルス幅変調(Pulse Width Modulation : PWM)について記載し、FPGA を用いることで SiC の利点を生かした高周波数の PWM 生成と、PWM と同じ周波数での制御が可能であることについて記載している。

第 3 章では FRIT を用いた制御器設計法について言及している。まず、FRIT の原理について示した後、1 自由度制御器である比例積分(Proportional-Integral : PI)制御器に適用する方法を述べている。次に目標値応答と外乱応答の設計法の詳細を記載し、双方を満足するためには 2 自由度制御器が必要であり、2 自由度制御器に FRIT を適用する手法を提案している。ここでは、ステップ状の外乱を制御器で除すことで仮想的な速度指令値として取り扱えることを示し、設定値変化と外乱応答が含まれた 1 組の入出力データのみで、所望の制御器ゲイン設計が行えることを提案している。

第 4 章では本論文で使用しているフィードバック型の 2 自由度制御器に適用した FRIT のゲイン探索の具体的な方法について言及している。ここでは粒子群最適化(Particle Swarm Optimization : PSO)を用いており、FRIT の評価に PSO の使用した計算手法について記載している。

第 5 章では本論文で用いた全デジタルハードウェア速度制御系の構成と実験装置の記載を行った後、提案する手法で設定値変化と外乱抑制に適した制御器の設計ができることを数種類の実験条件下にて確認し、その有効性を示している。

第 6 章では、結論として提案手法の統括と今後の課題について述べている。

学位論文審査の結果の要旨

本論文は PMSM の可変速速度制御系の設定値変化及び外乱応答に対して高応答を実現する研究であり、高周波数 PWM で駆動できる SiC インバータを用い、PWM 周期と同じ周波数で制御を行う全デジタルハードウェア可変速速度制御系を構築し、ステップ状の外乱を仮想的な速度指令値として取り扱うことで FRIT を用いた 2 自由度制御器設計が行えることを提案している。提案手法は 1 組の入出力データでゲイン設計ができるため現実的で産業界での貢献が期待できる。

また、公聴会においても、多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。